

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Klasifikasi Beban

Dalam perencanaan struktur pondasi, harus diketahui terlebih dahulu pembebanan yang terjadi pada struktur bangunan atas (*upper structure*), setelah itu didapat beban yang bekerja pada struktur bawah (*sub structure*) yaitu pondasi tersebut.

2.1.1 Pembebanan pada Struktur Atas

2.1.1.1 Beban Statik

Beban statik adalah beban yang bekerja secara terus-menerus pada suatu struktur. Beban statik juga diasosiasikan dengan beban-beban yang secara perlahan-lahan timbul serta mempunyai variabel besaran yang bersifat tetap (*steady states*). Dengan demikian, jika suatu beban mempunyai perubahan intensitas yang berjalan cukup perlahan sedemikian rupa sehingga pengaruh waktu tidak dominan, maka beban tersebut dapat dikelompokkan sebagai beban statik (*static load*). Deformasi dari struktur akibat beban statik akan mencapai puncaknya jika beban ini mencapai nilainya yang maksimum. Beban Statis pada umumnya dapat dibagi lagi menjadi beban mati, beban hidup, dan beban khusus, yaitu beban yang diakibatkan oleh penurunan pondasi atau efek temperatur.

- **Beban Mati**

Yaitu beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan, seperti misalnya penutup lantai, alat mekanis, dan partisi. Berat dari elemen-elemen ini pada umumnya dapat ditentukan dengan mudah dengan derajat ketelitian cukup tinggi. Untuk menghitung besarnya beban mati suatu elemen dilakukan dengan meninjau berat satuan material tersebut berdasarkan volume elemen. Berat satuan (*unit weight*) material secara empiris telah ditentukan dan telah banyak dicantumkan tabelnya pada sejumlah standar atau peraturan pembebanan.

Berat satuan atau berat sendiri dari beberapa material konstruksi dan komponen bangunan gedung dapat ditentukan dari peraturan yang berlaku di Indonesia yaitu Peraturan

Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 atau Peraturan Tahun 1987. Adapun nilai-nilai berat satuan atau berat sendiri mati untuk gedung berdasarkan Peraturan tersebut adalah :

- Baja = 7850 kg/m³
- Beton = 2200 kg/m³
- Batu belah = 1500 kg/m³
- Beton bertulang = 2400 kg/m³
- Kayu = 1000 kg/m³
- Pasir kering = 1600 kg/m³
- Pasir basah = 1800 kg/m³
- Pasir kerikil = 1850 kg/m³
- Tanah = 1700 - 2000 kg/m³

Berat dari beberapa komponen bangunan dapat ditentukan sebagai berikut:

- Atap genting, usuk, dan reng = 50 kg/m²
- Plafon dan penggantung = 20 kg/m²
- Atap seng gelombang = 10 kg/m²
- Adukan/spesi lantai per cm tebal = 21 kg/m²
- Penutup lantai/ubin per cm tebal = 24 kg/m²
- Pasangan bata setengah batu = 250 kg/m²
- Pasangan batako berlubang = 200 kg/m²
- Aspal per cm tebal = 15 kg/m²

- Beban Hidup

Yaitu beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Meskipun dapat berpindah-pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja secara perlahan-lahan pada struktur. Beban yang diakibatkan oleh hunian atau penggunaan (*occupancy loads*) adalah beban hidup. Yang termasuk ke dalam beban penggunaan adalah berat manusia, perabot, barang yang disimpan, dan sebagainya. Beban yang diakibatkan oleh salju atau air hujan, juga termasuk ke dalam beban hidup. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat berpindah atau, bergerak. Secara umum beban ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah, tetapi kadang-kadang dapat juga berarah horisontal.

Beban hidup untuk bangunan gedung adalah sebagai berikut :

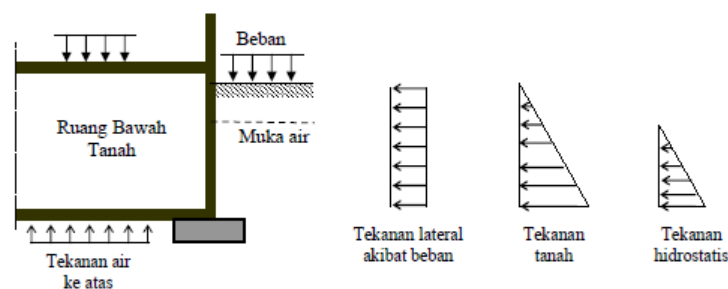
○ Beban hidup pada atap	= 100 kg/m ²
○ Lantai rumah tinggal	= 200 kg/m ²
○ Lantai sekolah, perkantoran, hotel, asrama, pasar, rumah sakit	= 200 kg/m ²
○ Panggung penonton	= 500 kg/m ²
○ Lantai ruang olah raga, lantai pabrik, bengkel, gudang, tempat orang berkumpul, perpustakaan, toko buku, masjid, gereja, bioskop, ruang alat atau mesin	= 400 kg/m ²
○ Balkon, tangga	= 300 kg/m ²
Lantai gedung parkir :	
○ Lantai bawah	= 800 kg/m ²
○ Lantai atas	= 400 kg/m ²

Pada suatu bangunan gedung bertingkat banyak, adalah kecil kemungkinannya semua lantai tingkat akan dibebani secara penuh oleh beban hidup. Demikian juga kecil kemungkinannya suatu struktur bangunan menahan beban maksimum akibat pengaruh angin atau gempa yang bekerja secara bersamaan. Desain struktur dengan meninjau beban-beban maksimum yang mungkin bekerja secara bersamaan, adalah tidak ekonomis. Berhubung peluang untuk terjadinya beban hidup penuh yang membebani semua bagian dan semua elemen struktur pemikul secara serempak selama umur rencana

bangunan adalah sangat kecil, maka pedoman-pedoman pembebanan mengijinkan untuk melakukan reduksi terhadap beban hidup yang dipakai. Reduksi beban dapat dilakukan dengan mengalikan beban hidup dengan suatu koefisien reduksi yang nilainya tergantung padapenggunaan bangunan. Besarnya koefisien reduksi beban hidup untukperencanaan portal, ditentukan sebagai berikut :

- Perumahan : rumah tinggal, asrama hotel, rumah sakit = 0,75
- Gedung pendidikan : sekolah, ruang kuliah = 0,90
- Tempat pertemuan umum, tempat ibadah, bioskop, restoran, ruang dansa, ruang pertgelaran = 0,90
- Gedung perkantoran : kantor, bank = 0,60
- Gedung perdagangan dan ruang penyimpanan : toko, toserba, pasar, gudang, ruang arsip, perpustakaan = 0,80
- Tempat kendaraan : garasi, gedung parkir = 0,90
- Bangunan industri : pabrik, bengkel = 1,00
- **Beban Khusus**

Yaitu beban yang dipengaruhi oleh penurunan pondasi, tekanan tanah, tekanan air atau pengaruh temperatur / suhu. Untuk beban akibat tekanan tanah atau air biasanya terjadi pada struktur bangunan yang terletak di bawah permukaan tanah, seperti dinding penahan tanah, terowongan atau ruang bawah tanah (*basement*). Struktur tersebut perlu dirancang untuk menahan tekanan tanah lateral. Jika struktur-struktur ini tenggelam sebagian atau seluruhnya di dalam air, maka perlu juga diperhitungkan tekanan hidrostatik dari air pada struktur. Sebagai ilustrasi, di bawah ini diberikan pembebanan yang bekerja pada dinding dan lantai dari suatu ruang bawah tanah.



Gambar 2.1 Gaya-gaya yang bekerja pada struktur basement

2.1.1.2 Beban Dinamik

Yaitu beban yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Pada umumnya, beban ini tidak bersifat tetap (*unsteady-state*) serta mempunyai karakteristik besaran dan arah yang berubah dengan cepat. Deformasi pada struktur akibat beban dinamik ini juga akan berubah-ubah secara cepat.

- **Beban Angin**

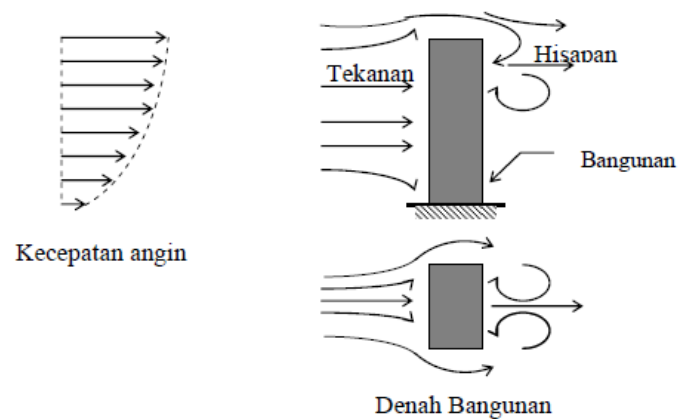
Struktur yang berada pada lintasan angin akan menyebabkan angin berbelok atau dapat berhenti. Sebagai akibatnya, energi kinetik angin akan berubah menjadi energi potensial yang berupa tekanan atau isapan pada struktur. Besarnya beban angin yang bekerja pada struktur bangunan tergantung dari kecepatan angin, rapat massa udara, letak geografis, bentuk dan ketinggian bangunan, serta kekakuan struktur. Bangunan yang berada pada lintasan angin, akan menyebabkan angin berbelok atau dapat berhenti. Sebagai akibatnya, energi kinetik dari angin akan berubah menjadi energi potensial, yang berupa tekanan atau hisapan pada bangunan. Untuk memperhitungkan pengaruh dari angin pada struktur bangunan, pedoman yang berlaku di Indonesia mensyaratkan beberapa hal sebagai berikut:

- Tekanan tiup angin harus diambil minimum 25 kg/m²
- Tekanan tiup angin di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai, harus diambil minimum 40 kg/m²

Untuk tempat-tempat dimana terdapat kecepatan angin yang mungkin mengakibatkan tekanan tiup yang lebih besar. Tekanan tiup angin (p) dapat ditentukan berdasarkan rumus empiris:

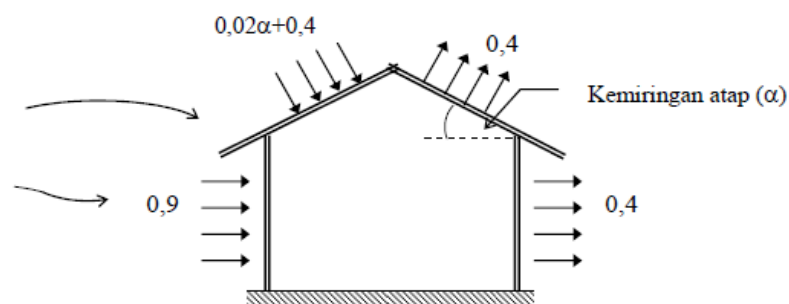
$$p = V^2/16 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

dimana V adalah kecepatan angin dalam satuan m/detik.



Gambar 2.2 pengaruh angin pada gedung

Berhubung beban angin akan menimbulkan tekanan dan hisapan, maka berdasarkan percobaan-percobaan, telah ditentukan koefisien-koefisien bentuk tekanan dan hisapan untuk berbagai tipe bangunan dan atap. Tujuan dari penggunaan koefisien-koefisien ini adalah untuk menyederhanakan analisis. Sebagai contoh, pada bangunan gedung tertutup, selain dinding bangunan, struktur atap bangunan juga akan mengalami tekanan dan hisapan angin, dimana besarnya tergantung dari bentuk dan kemiringan atap. Pada bangunan gedung yang tertutup dan rumah tinggal dengan tinggi tidak lebih dari 16 m, dengan lantai-lantai dan dinding-dinding yang memberikan kekakuan yang cukup, struktur utamanya (portal) tidak perlu diperhitungkan terhadap angin.



Gambar 2.3 Koefisien angin untuk tekanan dan hisapan pada bangunan

- **Beban Gempa**

Menyusul maraknya peristiwa gempa bumi di Indonesia akhir akhir ini, bangunan tahan gempa menjadi tren dalam permintaan desain gedung yang akan dibangun. Jika dulu beban gempa tidak terlalu dianggap penting, kecuali untuk daerah-daerah rawan gempa, maka sekarang beban gempa mendapat

perhatian serius dari perencana-perencana bangunan. Besarnya beban gempa yang terjadi pada struktur bangunan tergantung dari beberapa faktor, yaitu massa dan kekakuan struktur, waktu getar alami dan pengaruh redaman dari struktur, kondisi tanah, dan wilayahkegempaan di mana struktur bangunan tersebut didirikan. Massa dari struktur bangunan merupakan faktor yang sangat penting, karena beban gempa merupakan gaya inersia yang bekerja pada pusat massa, yang menurut hukum gerak dari Newton besarnya adalah :

$$V = m.a = (W/g).a ,$$

dimana :

a = percepatan pergerakan permukaan tanah akibat getaran gempa,

m = massa bangunan

W = berat bangunan

g = percepatan gravitasi

Gaya gempa horisontal

$$V = W.(a/g) = W.C$$

dimana

$C = a/g$ disebut sebagai koefisien gempa

Dengan demikian gaya gempa merupakan gaya yang didapat dari perkalian antara berat struktur bangunan dengan suatu koefisien. Pada bangunan gedung bertingkat, massa dari struktur dianggap terpusat pada lantai-lantai dari bangunan, dengan demikian beban gempa akan terdistribusi pada setiap lantai tingkat. Selain tergantung dari massa di setiap tingkat, besarnya gaya gempa pada suatu tingkat tergantung juga pada ketinggian tingkat tersebut dari permukaan tanah. Berdasarkan pedoman yang berlaku di Indonesia yaitu Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 03-1726-2003). Besarnya beban gempa horisontal V yang bekerja pada struktur bangunan, dinyatakan sebagai berikut:

$$V = \frac{C.I}{R} W_t$$

C : Koefisien gempa, yang besarnya tergantung wilayah gempa dan waktu getar struktur

Harga C ditentukan dari Diagram Respon Spektrum, setelah terlebih dahulu dihitung waktu getar dari struktur

I : Faktor keutamaan struktur

R : Faktor reduksi gempa

Wt : Kombinasi dari beban mati dan beban hidup yang direduksi

Besarnya koefisien reduksi beban hidup untuk perhitungan Wt, ditentukan

- Perumahan / penghunian : rumah tinggal, asrama, hotel, rumah sakit = 0,30
- Gedung pendidikan : sekolah, ruang kuliah = 0,50
- Tempat pertemuan umum, tempat ibadah, bioskop, restoran, ruang dansa, ruang pertunjukan = 0,50
- Gedung perkantoran : kantor, bank = 0,30
- Gedung perdagangan dan ruang penyimpanan, toko, toserba, pasar, gudang, ruang arsip, perpustakaan = 0,80
- Tempat kendaraan : garasi, gedung parkir = 0,50

Besarnya nilai faktor keutamaan struktur (I) ditentukan dengan angka pada tabel berikut :

Tabel 2.1 Faktor keutamaan struktur ditinjau dari kategori bangunannya

Kategori gedung/bangunan	faktor keutamaan		
	I1	I2	I
Gedung umum seperti untuk penghunian,	1,0	1,00	1,0
Perniagaan dan perkantoran			
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit , instalasi air bersih , pembangkit tenaga listrik , fasilitas radio dan televisi	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas , produk minyak bumi , asam, bahan beracun	1,6	1,0	1,6
Cerobong , tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

Untuk mendapatkan faktor-faktor kriteria desain seismik yang digunakan pada bangunan Kita gunakan klasifikasi situs. Sesuai dengan SNI 1726-2012

Pasal 5, Perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan Tabel 2.3 dan berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan.

Tabel 2.2 Klasifikasi Siklus

n	Vs(m/deti k)	N atau Nch	(kPa)
<i>SA (Batuan keras)</i>	>1500	N/A	N/A
<i>SB (Batuan)</i>	750 - 1500	N/A	N/A
<i>SC (Tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)</i>	359 - 750	> 50	≥ 100
<i>SD (Tanah sedang)</i>	175 - 350	15- 50	50 - 100
	< 175	< 15	< 50
Atau setiap tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :			
<i>SE (Tanah lunak)</i>	1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40 \%$ 3. Kuat geser nilalir $< 25 \text{ kPa}$		

Sumber: SNI 1726 (2012:17)

Klasifikasi situs diatas didefinisikan berdasarkan profil tanah yang berada pada kedalaman sampai 30 m dari permukaan tanah. Jika pada tanah terdapat beberapa jenis lapisan yang terdiri dari lapisan tanah atau batuan maka profil tanah harus dibagi menjadi lapisan-lapisan yang diberi nomor lapisan ke-1 hingga lapisan ke-n kedalaman 30 m. Bila sebagian lapisan merupakan tanah kohesif dan non-kohesif, maka k adalah jumlah lapisan kohesif dan m adalah jumlah lapisan non-kohesif. Simbol i mengacu kepada lapisan antara 1 dan n. Mengacu pada SNI 1726 (2012:20) besaran nilai N untuk tanah non-kohesif, tanah kohesif dan lapisan batuan dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Keterangan :

di : Tebal setiap lapisan antra kedalaman 0 -30 meter

Ni: Nilai tahanan penetrasi standar 60% (N60)

Menurut SNI 1726 (2012:22) parameter percepatan spektral desain perioda pendek, SDS , dan pada perioda $SD1$, harus ditentukan melalui perumusan berikut:

$$SDS = 2.3 SMS$$

$$SD1 = 2.3 SMS$$

Spektrum Respons Desain Kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 2.3 dan mengikuti ketentuan dibawah ini:

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain S_a , harus diambil dari persamaan :

$$S_a = SDS (0,4 + 0,6)$$
2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 , dan lebih kecil atau sama dengan T_S , spektrum respons percepatan desain, S_a sama dengan SDS .
3. Untuk perioda lebih besar dari T_S , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = SD1$$

Keterangan:

SDS = Parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek

$SD1$ = Parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik

T = Perioda respons spektral fundamental struktur (detik)

Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan kedalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 2.3 atau Tabel 2.4, terlepas dari nilai perioda fundamental getaran struktur, T .

Tabel 2.3 Kategori desain seismic berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Nilai SDS	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$SDS < 0,167$	A	A
$0,167 \leq SDS < 0,33$	B	C
$0,33 \leq SDS < 0,50$	C	D
$0,50 \leq SDS$	D	D

Tabel 2.4 Kategori desain seismic berdasarkan parameter respons percepatan periode 1 detik

Nilai SDS	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$SDI < 0,167$	A	A
$0,167 \leq SDI < 0,133$	B	C
$0,133 \leq SDI < 0,20$	C	D
$0,20 \leq SDI$	D	D

Sistem penahan gaya gempa lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang ditujukan dalam Tabel 2.5. Pada tabel tersebut terdapat nilai koefisien modifikasi respons yang sesuai, R , faktor kuat lebih sistem, Ω_0 , dan koefisien amplifikasi defleksi, C_d , yang harus digunakan dalam penentuan gaya geser dasar, gaya geser elemen, dan simpangan antar lantai tingkat desain.

Tabel 2.5 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem penahan gempa

Sistem penahan gaya seismik	Koef. Modifikasi respons, R_a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_{0g}	Faktor pembesaran defleksi, C_{db}	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D _a	E _a	F _e
A. Sistem dinding penahan								
B. Sistem rangka Bangunan								
C. Sistem rangka pemikul momen								
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2 ½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2 ½	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2 ½	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2 ½	5	TB	TB	TB	TB	TB
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2 ½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2 ½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7 ½	2 ½	6	TB	TB	TB	TB	TB

Sumber: SNI 1726 (2012:36)

Menurut SNI 1726 (2012:55) Periode fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Sebagai alternative pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur, T , diijinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan, T_a . Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari Tabel 2.6 dan periode fundamental pendekatan, T_a yang dihitung sebagaimana berikut.

Tabel 2.6 Koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung.

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, SDI	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: SNI 1726 (2012:56)

Tabel 2.7 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Rangka beton pemikul momen	0,0466a	0,9
Semua sistem struktur lainnya	0,0488a	0,75

Sumber: SNI 1726 (2012:56)

Berdasarkan SNI 1726 (2012:54) Gaya geser dasar seismik, V , harus ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = C_s W$$

Keterangan :

Cs : koefisien respons seismik yang di tentukan

W : Berat seismik efektif (kn)

Berdasarkan SNI 1726 (2012:54) Koefisien respons seismik, CS, harus ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_s = \frac{S_{ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Keterangan :

Sds : Parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek

R : Faktor modifikasi

Ie : Faktor keutamaan gempa

Koefisien respons seismik, CS yang dihitung sebagaimana ketentuan diatas tidak perlu melebihi nilai koefisien respons seismik berikut:

$$C_s = \frac{S_{d1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Dan juga harus tidak kurang dari persamaan dibawah ini :

$$C_s = 0,004 S_{ds} I_e \geq 0,01$$

Dan jika struktur berlokasi didaerah dimana SI sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka CS tidak boleh kurang dari

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Menurut SNI 1726 (2012:57) gaya gempa lateral (Fx) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut.

$$F_x = C_{vx} \cdot V$$

Dan nilai faktor distribusi vertikal dapat dihitung menggunakan persamaan\

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i^k}$$

CVX	: Faktor distribusi vertikal
F_x	: Gaya gempa lateral (kN)
V	: Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, dinyatakan dalam kilonewton (kN)
w_i dan w_x	: Bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x
h_i dan h_x	: Tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)
k	<p>Eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut</p> <ul style="list-style-type: none"> - Untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$ - Untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$ - Untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

Hal penting dalam menentukan beban desain pada struktur adalah dengan pertanyaan, apakah semua beban tersebut bekerja secara simultan atau tidak. Beban mati akibat berat sendiri dari struktur harus selalu diperhitungkan. Sedangkan beban hidup besarnya selalu berubah-ubah tergantung dari penggunaan dan kombinasi beban hidup. Sebagai contoh, adalah tidak wajar merancang struktur bangunan untuk mampu menahan beban maksimum yang diakibatkan oleh gempa dan beban angin maksimum, serta sekaligus memikul beban hidup dalam keadaan penuh. Kemungkinan bekerjanya beban-beban maksimum pada struktur pada saat yang bersamaan adalah sangat kecil. Struktur bangunan dapat dirancang untuk memikul semua beban maksimum yang bekerja secara simultan. Tetapi struktur yang dirancang demikian akan mempunyai kekuatan yang sangat berlebihan untuk memikul kombinasi pembebanan yang secara nyata mungkin terjadi selama umur rencana struktur. Dari sudut pandang rekayasa struktur, desain struktur dengan pembebanan seperti ini adalah tidak realistis dan sangat mahal. Berkenaan dengan hal ini, maka banyak peraturan yang merekomendasikan untuk

mereduksi beban desain pada kombinasi pembebanan tertentu. Untuk pembebanan pada bangunan gedung bertingkat banyak, sangat tidak mungkin pada saat yang sama semua lantai memikul beban hidup yang maksimum secara simultan. Oleh karena itu diijinkan untuk mereduksi beban hidup untuk keperluan perencanaan elemen-elemen struktur dengan memperhatikan pengaruh dari kombinasi pembebanan dan penempatan beban hidup. Berikut ini adalah kombinasi pembebanan yang dipakai untuk struktur portal menurut Tatacara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002 :

- Kombinasi Beban Tetap

$$U = 1,4 D$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R)$$

- Kombinasi beban Sementara

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R)$$

$$U = 0,9 D \pm 1,6 W$$

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$$

$$U = 0,9 D \pm 1,0 W$$

$$U = 1,4 (D + F)$$

$$U = 1,2 (D + T) + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R)$$

dimana

D = Beban mati,

L = Beban hidup

A = Beban atap

R = Beban hujan

W = Beban angin

E = Beban gempa

F = tekanan fluida

T = Perbedaan penurunan pondasi, perbedaan suhu, rangkai dan susut beton.

Sistem struktur dan elemen struktur harus diperhitungkan terhadap dua kombinasi pembebanan, yaitu Pembebanan Tetap dan Pembebanan Sementara. Momen lentur (M_u), momen torsi atau puntir (T_u), gaya geser (V_u), dan gaya normal (P_u) yang terjadi pada elemen-elemen struktur akibat kedua kombinasi

pembebanan yang ditinjau, dipilih yang paling besar harganya, untuk selanjutnya digunakan pada proses desain. Untuk keperluan analisis dan desain dari suatu struktur bangunan gedung, perlu dilakukan perhitungan mekanika rekayasa dari portal beton dengan dua kombinasi pembebanan yaitu Pembebanan Tetap dan Pembebanan Sementara. Kombinasi pembebanan untuk perencanaan struktur bangunan gedung yang sering digunakan di Indonesia adalah:

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E.$$

Pada umumnya, sebagai gaya horisontal yang ditinjau bekerja pada sistem struktur portal adalah beban gempa, karena di Indonesia beban gempa lebih besar dibandingkan dengan beban angin. Beban gempa yang bekerja pada sistem struktur dapat berarah bolak-balik, oleh karena itu pengaruh ini perlu ditinjau didalam perhitungan. Beban mati dan beban hidup selalu berarah ke bawah karena merupakan beban gravitasi, sedangkan beban angin atau beban gempa merupakan beban yang berarah horisontal.

2.2 Klasifikasi Pondasi

Sebelum sampai pada tahap pemilihan pondasi yang akan digunakan pada sebuah bangunan, terlebih dahulu perencana harus mengetahui macam pondasi yang ada. Selanjutnya pemilihan jenis pondasi dilakukan berdasarkan faktor-faktor seperti yang telah dijelaskan dalam BAB I. Oleh karena semua proyek pada pelaksanaannya selalu dibatasi oleh 3 variabel berupa Biaya, Mutu dan Waktu, maka pemilihan pondasi juga harus mempertimbangkan 3 variabel pembatas ini. Setelah ditentukan jenis pondasi yang mampu mengakomodasi semua faktor tersebut, barulah pelaksanaan dapat dilakukan. Secara garis besar, pondasi terbagi menjadi 2 kelompok besar: pondasi dangkal dan pondasi dalam.

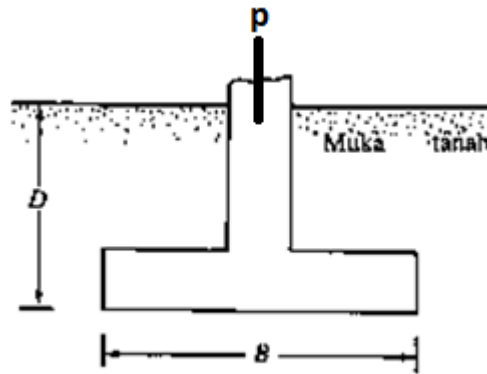
2.2.1. Pondasi Dangkal (*Shallow Foundation*)

1. Tinjauan Umum Pondasi Dangkal digunakan apabila kedalaman tanah baik tidak begitu dalam (antara 0.6 sampai 2.0 meter), serta kapasitas dukung tanah relatif baik ($> 2.0 \text{ kg/cm}^2$). Faktor inilah yang menjadikan pondasi dangkal sebagai pondasi termurah. Pada umumnya pondasi dangkal adalah berupa pondasi telapak / *footing* yaitu pondasi yang mendukung bangunan

secara langsung pada tanah pondasi, bilamana terdapat lapisan tanah yang cukup tebal dan berkualitas baik yang mampu mendukung suatu bangunan pada permukaan tanah. Untuk perencanaan dimensi secara langsung, dapat ditentukan dengan rumus $D/B \leq 1 - 4$, di mana D = kedalaman pondasi diukur dari alas pondasi sampai permukaan tanah dan B = lebar alas pondasi. Sedangkan luas alas pondasi dihitung sedemikian rupa sehingga tekanan yang terjadi pada tanah dasar tidak melampaui kapasitas dukung ijin

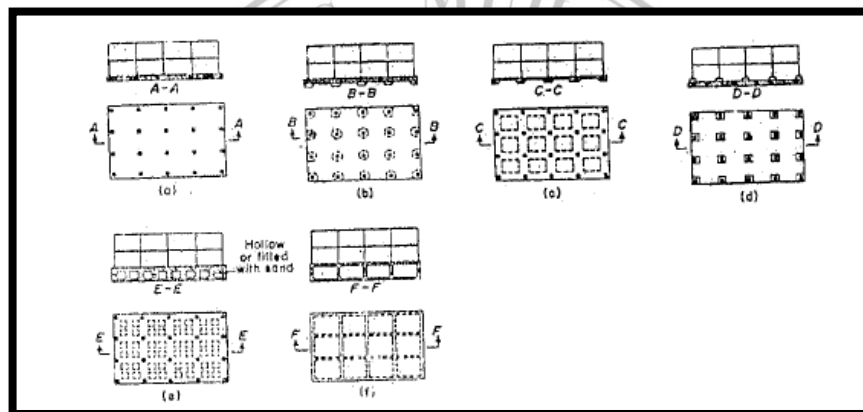
2. Tanah $\sigma \leq \sigma -$, dan luas alas pondasi ditentukan dengan rumus $A = P / \sigma$, dengan A = luas alas pondasi, P = beban yang bekerja pada kolom yang didukung pondasi (beban normal) dan σ = tekanan yang terjadi pada tanah. Perencanaan dimensi pondasi dangkal paling hemat apabila dibuat sedemikian rupasehingga resultan gaya-gaya yang bekerja melalui pusat berat alas pondasi. Pondasi telapak sendiri dapat dibagi menjadi beberapa macam sebagai berikut :

- Pondasi tumpuan :
 - Pondasi menerus
 - Pondasi kombinasi
 - Pondasi setempat
- Pondasi rakit /Rakit/Mat:
 - pelat datar
 - pelat dengan pertebalan di bawah kolom
 - pelat dengan balok pengaku dua arah
 - pelat dengan kolom pendek
 - pelat dengan struktur seluler
 - pondasi pelat terapung



Gambar 2.4 (Pondasi Telapak (footing) sebagai pondasi dangkal yang umum dipakai)

Sedangkan macam pondasi pelat / rakit / mat sebagai bagian dari pondasi telapak dapat dilihat pada Gambar :



sumber : *Rekayasa Pondasi II, Ir.Indrastono Dwi Atmanto, Meng*

Gambar 2.5 (macam Pondasi Telapak (footing) sebagai pondasi dangkal yang umum dipakai)

2.3 Konstruksi Sarang Laba - Laba

Pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba merupakan kombinasi konstruksi bangunan bawah konvensional yang merupakan perpaduan pondasi plat beton pipih menerus yang di bawahnya dikakukan oleh rib-rib tegak yang pipih tinggi dan sistem perbaikan tanah di antara rib-rib. Kombinasi ini menghasilkan kerja sama timbal balik yang saling menguntungkan sehingga membentuk sebuah pondasi yang memiliki kekakuan (rigidity) jauh lebih tinggi dibandingkan sistem pondasi dangkal lainnya.

Konstruksi Sarang Laba-Laba ditemukan pada tahun 1976 oleh Ir.Ryantori dan Ir. Sutjipto dari ITS dan telah dikembangkan bersama pakar Institut

Teknologi Bandung pada tahun 1996. Kemudian paten perbaikannya tahun 2004 dengan Nomor Paten: ID 0018808 dipegang oleh PT. Katama Suryabumi sebagai pemegang paten dan pelaksana khusus Pondasi Konstruksi Sarang Laba-laba.

Konstruksi Sarang Laba-Laba merupakan sistem pondasi dangkal yang lebih kaku dan hemat, bila dilihat dari segi materialnya. Kelebihan lain dari sistem ini merupakan daya tahan horizontal yang cukup bagus. Karena mempunyai kestabilan yang baik, dimana bila ada gerakan ke arah horizontal sistem ini dapat ditahan oleh tahanan samping, dimana tekanan samping dari sistem ini cukup besar.

Konstruksi Sarang Laba-Laba lebih dikenal dengan sebutan pondasi rakit (*raft foundation*). Pondasi laba - laba ini memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan pondasi konvensional yang lain diantaranya yaitu memiliki kekuatan lebih baik dengan penggunaan bahan bangunan yang hemat dibandingkan dengan pondasi rakit (*full plate*) lainnya, mampu memperkecil penurunan bangunan karena dapat membagi rata kekuatan pada seluruh pondasi dan mampu membuat tanah menjadi bagian dari struktur pondasi, berpotensi digunakan sebagai pondasi untuk tanah lunak dengan mempertimbangkan penurunan yang mungkin terjadi dan tanah dengan sifat kembang susut yang tinggi, menggunakan lebih sedikit alat-alat berat dan bersifat padat karya, waktu pelaksanaan yang relatif cepat dan dapat dilaksanakan secara industri (pracetak), lebih ekonomis karena terdiri dari 80% tanah dan 20% beton bertulang dan yang paling penting adalah ramah lingkungan karena dalam pelaksanaan hanya menggunakan sedikit menggunakan kayu dan tidak menimbulkan kerusakan bangunan serta tidak menimbulkan kebisingan disekitarnya.

Dinamakan sarang laba-laba karena pembesian plat pondasi di daerah kolom selalu berbentuk sarang laba-laba. Juga bentuk jaringannya yang tarik menarik bersifat monolit yaitu berada dalam satu kesatuan. Ini disebabkan plat konstruksi didesain untuk multi fungsi, untuk septic tank, bak reservoir, lantai, pondasi tangga, kolom praktis dan dinding. Rib (tulang iga) Konstruksi Sarang Laba-Laba berfungsi sebagai penyebar tegangan atau gaya-gaya yang bekerja pada kolom. Pasir pengisian tanah dipadatkan berfungsi untuk menjepit rib-rib konstruksi

terhadap lipatan puntir. Dari uraian-uraian di atas dapat dilihat bahwa ada 2 bagian konstruksi dalam pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba :

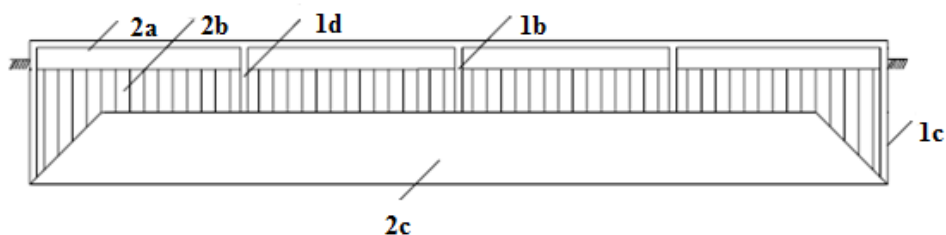
1. Konstruksi beton

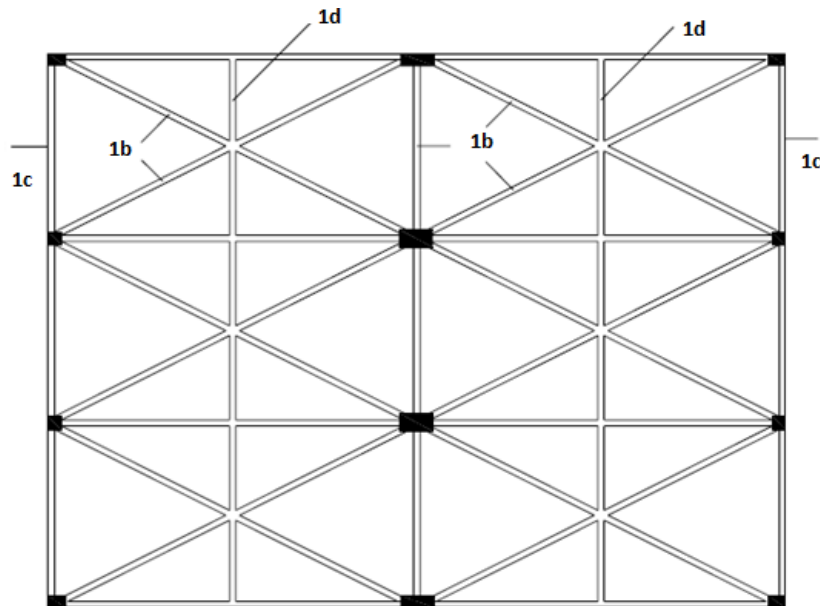
- Konstruksi beton pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba berupa pelat pipih menerus yang di bawahnya dikakukan oleh rib-rib tegak yang pipih dan tinggi.
- Berdasarkan fungsinya, rib-rib tersebut dibagi menjadi rib konstruksi, rib settlement dan rib pengaku.
- Penempatan rib-rib dilakukan sedemikian rupa sehingga tampak atas membentuk petak-petak segitiga dalam hubungan yang kaku (rigid)



Gambar 2.6 foto Pelaksanaan Pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba pada Mall Tatura

Sumber : Foto-foto Pelaksanaan Konstruksi Sarang Laba-Laba pada Mall Tatura, Palu-Sulawesi Tengah pada Laporan Kerja Praktek "Pembangunan Mall Tatura Palu, Sulawesi Tengah"





Gambar 2.7 Contoh Konstruksi Sarang Laba-Laba dalam sketsa potongan dan denah

1a - Pelat beton pipih menerus

1b - Rib konstruksi

1c - Rib settlement

1d - Rib pembagi

2a - Urugan pasir dipadatkan

2b - Urugan tanah dipadatkan

2c - Lapisan tanah asli yang ikut terpadatkan

- Bentuknya bisa digambarkan sebagai kotak raksasa yang terbalik (menghadap kebawah).
- 2. Tanah sebagai bagian dari konstruksi

Salah satu dari keistimewaan Konstruksi Sarang Laba-Laba adalah mengikutsertakan tanah sebagai bagian dari konstruksi pondasi itu sendiri. Tanah hasil galian sebelumnya tidak serta merta tidak digunakan lagi, melainkan dijadikan bagian dari konstruksi dengan perbaikan berupa pemadatan sebagai pengisi petak-petak segitiga di antara rib-rib beton sebelumnya. Untuk hasil yang optimal, pemadatan tanah harus dilakukan lapis demi lapis dengan tebal tiap lapis tidak lebih dari 20 cm. Pemadatan harus dilakukan sampai 90 % dan pada 2 atau 3 lapis teratas harus melampaui batas 90 % sampai 95 % kepadatan maksimum (*Standart*

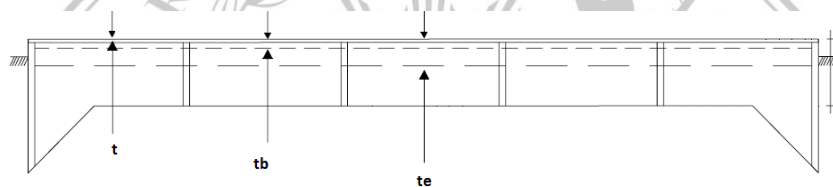
Proctor). Perbaikan tanah dengan cara dipadatkan ini dapat membentuk lapisan tanah yang kokoh dan dapat memperkecil dimensi plat serta rib-ribnya, sedangkan rib-rib tersebut akan berfungsi pula sebagai pelindung bagi perbaikan tanah yang telah dipadatkan dengan baik. Pada dasarnya pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba bertujuan untuk memperkaku sistem pondasi itu sendiri dengan cara berinteraksi dengan tanah pendukungnya. Seperti diketahui bahwa jika pondasi semakin fleksibel, maka distribusi tegangan / *stress* tanah yang timbul akan semakin tidak merata, terjadi konsentrasi tegangan pada daerah beban terpusat. Dan sebaliknya, jika pondasi semakin kaku / rigid, maka distribusi tegangan / *stress* tanah akan semakin merata. Hal ini mempengaruhi kekuatan pondasi dalam hal penurunan yang dialami pondasi. Dengan pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba, karena mempunyai tingkat kekakuan yang lebih tinggi, maka penurunan yang terjadi akan merata karena masing-masing kolom dijepit dengan rib-rib beton yang saling mengunci. Menurut Lokakarya yang diadakan selama sehari di Bandung pada pertengahan tahun 2004 oleh Puslitbang Depkimpraswil (sumber: <http://edisupriyanto.wordpress.com>) yang dihadiri oleh para pakar gempadan tanah, disimpulkan kelebihan-kelebihan Konstruksi Sarang Laba-Laba adalah sebagai berikut:

- Konstruksi Sarang Laba-Laba memiliki kekakuan yang lebih baik dengan penggunaan bahan bangunan yang hemat dibandingkan dengan pondasi rakit (*raft foundation*).
- Konstruksi Sarang Laba-Laba memiliki kemampuan memperkecil *differential settlement* dan mengurangi *irregular differential settlement* apabila dibandingkan dengan pondasi rakit.
- Konstruksi Sarang Laba-Laba mampu membuat tanah menjadi bagian dari struktur pondasi yang karena proses pemadatannya akan meniadakan pengaruh lipatan atau (*lateral buckling*) pada rib
- Konstruksi Sarang Laba-Laba berpotensi untuk digunakan sebagai pondasi untuk bangunan bertingkat rendah (2 lantai) yang dibangun di atas tanah lunak dengan mempertimbangkan *total settlement* yang mungkin terjadi.

- Pelaksanaannya tidak menggunakan alat-alat berat dan tidak mengganggu lingkungan sehingga cocok diterapkan baik di lokasi padat penduduk maupun di daerah terpencil.
- Konstruksi Sarang Laba-Laba mampu menghemat penggunaan baja tulangan maupun beton yang dibutuhkan
- Waktu pelaksanaan yang diperlukan relatif lebih cepat dan dapat dilaksanakan secara padat karya.
- Konstruksi Sarang Laba-Laba lebih ekonomis dibandingkan pondasi konvensional rakit atau tiang pancang, lebih-lebih dengan pondasi dalam, sehingga cocok digunakan oleh negara-negara sedang berkembang sebab murah, padat karya dan sederhana.

2.3.1 Aspek Teknis Pada Konstruksi Sarang Laba-Laba

Pelat pipih menerus yang di bawahnya dikakukan oleh rib-rib tegak, pipih dan tinggi



Gambar 2.8 Pelat pipih menerus yang dikakukan oleh rib tegak, pipih dan tinggi di bawahnya

Dengan :

t = Tebal plat

b = Tebal rib

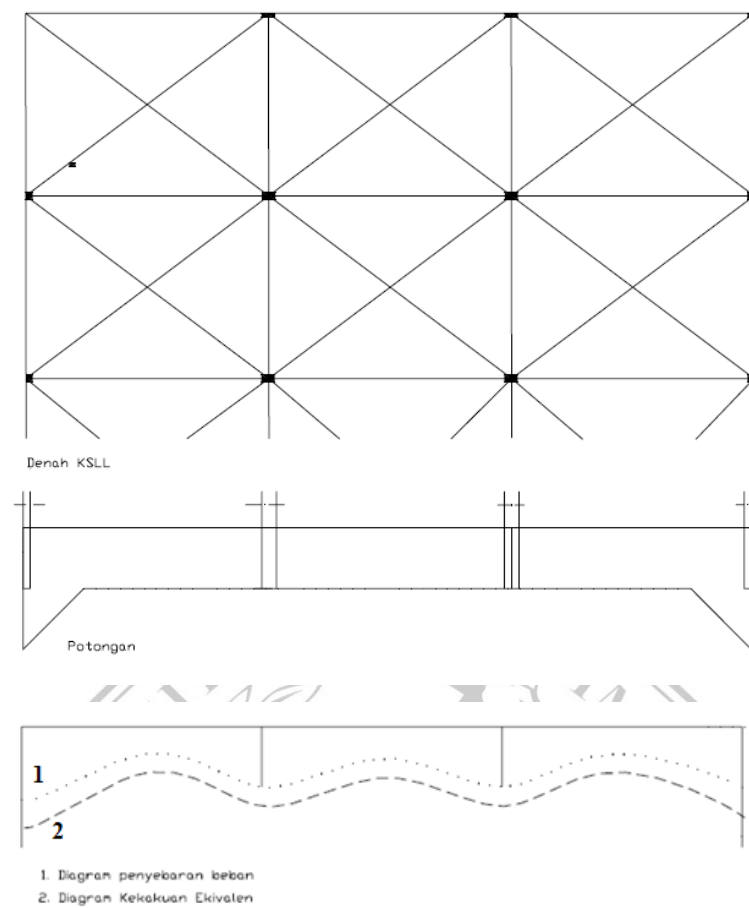
h = Tinggi rib

te = Tebal ekuivalen

tb = Tebal volume penggunaan beton untuk pondasi Konstruksi

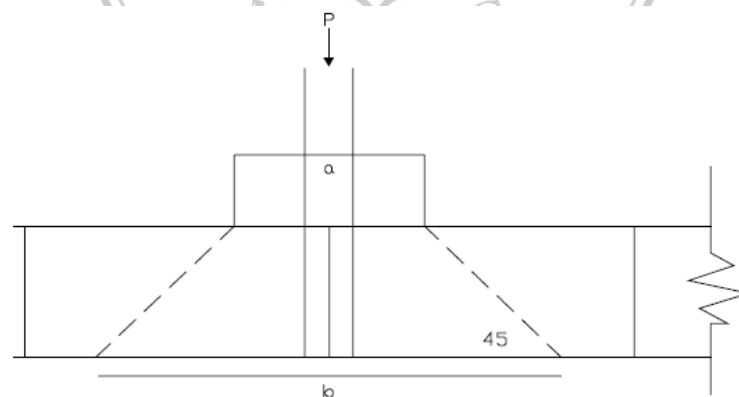
Sarang Laba Laba, seandainya dinyatakan sebagai pelat menerus tanpa rib

Bentuk konstruksi seperti ini, dengan bahan yang relatif sedikit (tb) akan diperoleh pelat yang memiliki kekakuan / tebal ekuivalen (te) yang tinggi. Pada umumnya $te = 2,5 - 3,5 tb$, dengan variasi tergantung desain. Bentuk ketebalan ekuivalen tersebut tidak berbentuk merata, melainkan bergelombang.



Gambar 2.9 Tampak Denah, Potongan dan Diagram Penyebaran Beban dan Kekakuan Ekvivalen pada Pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba

Penempatan pelat di sisi atas rib dan sistem perbaikan tanah

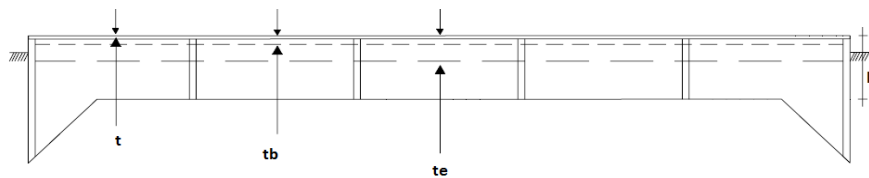


Gambar 2.10 Susunan konstruksi pelat di sisi atas rib dan sistem perbaikan tanah

Dengan susunan konstruksi seperti di atas, akan dihasilkan penyebaran beban seperti pada gambar tersebut, di mana untuk mendapatkan luasan

pendukung pada tanah asli selebar b cukup dibutuhkan pelat efektif selebar c . Hal ini disebabkan karena proses penyebaran beban dimulai dari bawah pelat yang berada pada sisi atas lapisan perbaikan tanah.

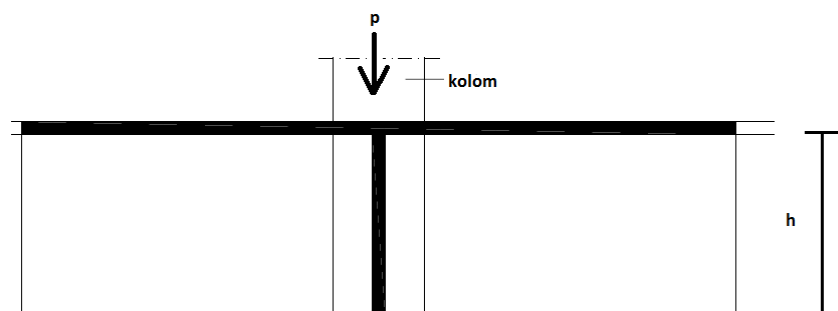
Susunan rib yang membentuk petak-petak segitiga dengan hubungan yang kaku menjadikan hubungan antar rib menjadi hubungan yang stabil terhadap pengaruh gerakan / gaya horisontal.



Gambar 2.11 Rib Settlement

Penempatan rib yang cukup dalam diatur sedemikian rupa sehingga membagi luasan konstruksi bangunan bawah dalam petak-petak segitiga yang masing-masing luasnya tidak lebih dari 200 m². Adanya rib-rib settlement memberi keuntungan-keuntungan antara lain yaitu mereduksi total penurunan, mempertinggi kestabilan bangunan terhadap kemungkinan terjadinya kemiringan, mampu melindungi perbaikan tanah terhadap kemungkinan bekerjanya pengaruh-pengaruh negatif dari lingkungan sekitar, misalnya kembang susut tanah dan kemungkinan timbulnya degradasi akibat aliran tanah dan yang terakhir yaitu menambah kekakuan pondasi dalam tinjauannya secara makro.

Kolom mencengkeram pertemuan rib-rib sampai ke dasar rib



Gambar 2.12 Kolom yang mencengkeram pertemuan rib-rib sampai ke dasar rib

Hal ini membuat hubungan konstruksi bagian atas (*upper structure*) dengan konstruksi bangunan bawah (*sub structure*) yaitu Konstruksi Sarang Laba-Laba menjadi lebih kokoh. Sebagai gambaran, misal tinggi rib konstruksi adalah 120 cm, maka hubungan antara kolom dengan pondasi KSSL juga akan setinggi 120 cm. Untuk perbandingan, misal pada pondasi tiang pancang, hubungan antara kolom dengan pondasi hanya setebal pondasinya (kisarannya antara 50 - 80 cm).

Pemadatan tanah baru dilakukan setelah rib-rib selesai dicor dan berumur sedikitnya 3 hari. Pemadatan sendiri harus dilaksanakan lapis demi lapis dan harus dijaga agar perbedaan tinggi antara petak yang sedang dipadatkan dengan petak-petak yang bersebelahan tidak lebih dari 25 cm. Hal ini disebabkan karena umur beton rib yang masih muda.

Dengan cara ini pemadatan dapat dilaksanakan dengan cara yang mudah untuk mencapai kepadatan yang tinggi. Di samping hasil kepadatan yang tinggi pada lapisan tanah di dalam petak rib-rib pondasi KSSL, lapisan tanah asli di bawahnya akan ikut terpadatkan walaupun tidak mencapai kepadatan setinggi tanah yang berada dalam petak rib-rib pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba. Hal itu pun sudah memberikan hasil yang cukup memuaskan bagi peningkatan kemampuan daya dukung dan bagi ketahanan / kestabilan terhadap penurunan (*settlement*).

Rib-rib beton, di samping berfungsi sebagai pengaku pelat dan sebagai sloof, juga berfungsi sebagai dinding penyekat dari sistem perbaikan tanah, sehingga perbaikan tanah dapat dipadatkan dengan tingkat kepadatan yang tinggi (dapat mencapai 100 % kepadatan maksimum dengan Standar Proctor), dan setelahnya rib-rib tersebut akan berfungsi sebagai pelindung bagi perbaikan tanah yang sudah dipadatkan tersebut terhadap pengaruh-pengaruh dari banjir, penguapan dan degradasi akibat adanya aliran air tanah dan sebagainya. Perbaikan tanah sendiri akan memberi dampak lapisan tanah menjadi seperti lapisan batu karang sehingga dapat memperkecil dimensi ribnya.

2.3.2 Aspek Ekonomis Pada Pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba

Di atas telah dijelaskan aspek-aspek teknis yang juga memberi keuntungan dilihat dari aspek ekonomis, seperti dimensi rib yang relatif kecil, penggunaan

tanah sebagai bagian dari konstruksi yang menghemat pemakaian beton dan sebagainya. Aspek ekonomis yang juga dapat dilihat pada pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba adalah pengerjaan pondasi yang memerlukan waktu yang singkat karena pelaksanaannya mudah dan padat karya serta sederhana dan tidak menuntut keahlian yang tinggi. Selain itu pembesian rib dan plat cukup dengan pembesian minimum, 120 kg - 150 kg/m³ volume beton rata-rata 0,2 - 0,45 m³ beton/m². Pengerjaan pondasi memerlukan waktu yang singkat karena pelaksanaannya mudah dan padat karya serta sederhana dan tidak menuntut keahlian yang tinggi. Pembesian rib dan plat cukup dengan pembesian minimum, 120 kg - 150 kg/m³ volume beton rata-rata 0,2 - 0,45 m³ beton/m² luas pondasi. Pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba memanfaatkan tanah hingga mampu berfungsi sebagai struktur bangunan bawah dengan komposisi sekitar 85 persen tanah dan 15 persen beton.

Dibandingkan dengan sistem pondasi lain, Konstruksi Sarang Laba-Laba dapat menekan biaya yang cukup besar. Pada umumnya diperoleh penghematan sebesar :

- ± 30 % untuk bangunan 3 - 8 lantai
- ± 20 % untuk bangunan 2 lantai
- ± 30 % untuk bangunan gudang-gudang Kelas I

2.3.3 Keuntungan Penerapan Pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba

Keuntungan penggunaan Konstruksi Sarang Laba-Laba selain untuk kokoh dan tahan terhadap penurunan dan gempa antara lain :

- Lebih efisien karena akan mampu menghemat penggunaan beton dan besi beton.
- Punya tingkat kekakuan (rigidity) yang jauh lebih tinggi serta bersifat monolit dibanding sistem fondasi dangkal lainnya.
- Punya fungsi ganda yakni untuk pelat fondasi, lantai, fondasi tangga, septictank, dinding, bak reservoir dan juga kolom praktis.
- Pengerjaan lebih cepat karena menggunakan sistem ban berjalan dan juga bisa dikerjakan oleh siapapun tanpa menuntut keahlian tinggi.
- Mampu memikul beban cukup tinggi, seperti pada kondisi tanah yang baik bisa memikul beban 0,4 kg/cm².

- KSSL juga mampu untuk memikul beban titik/kolom sampai 750 ton.

2.3.4 Syarat Konstruksi Ideal Dinding Penahan

Untuk menghasilkan konstruksi dinding penahan yang ideal, maka analisis stabilitas KSSL perlu ditinjau terhadap hal-hal sebagai berikut :

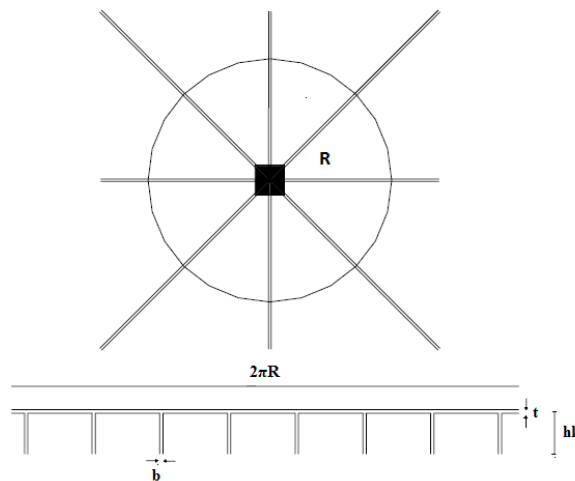
- a. Faktor aman terhadap penggeseran (*sliding*) dan penggulingan (*overturning*) harus mencukupi.
- b. Tekanan yang terjadi pada tanah dasar pondasi harus tidak boleh melebihi kapasitas dukung tanah ijin.

2.3.5 Perencanaan Konstruksi Sarang Laba-Laba

Perencanaan pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba dilakukan dengan memanfaatkan keistimewaan-keistimewaan pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba seperti yang telah diuraikan.

1. Ketebalan Ekvivalen pada pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba

Dalam perhitungan ketebalan ekuivalen Konstruksi Sarang Laba-Laba, pengaruh perbaikan tanah dianggap = 0 (nol).



Statis momen terhadap sisi atas = S_a

$$S_a = t \cdot (2\pi R) \cdot \frac{1}{2} t + 8 \cdot b \cdot (hk - t) \cdot \left(\frac{hk - t}{2} + t \right)$$

$$= (2\pi R \cdot t + 8 \cdot b \cdot (hk - t)) y$$

Titik berat = y = Statis Momen : Luas

$$y = \frac{\pi R t^2 + 4 \cdot b \cdot (hk^2 - t^2)}{2\pi R t + 8 \cdot b \cdot (hk - t)}$$

$$I_x = \frac{1}{12} (2\pi R)(te)^3$$

$$te = \sqrt[3]{\frac{12 I_x}{2\pi R}}$$

dengan : $R > 0.5 a_1$

a_1 = lebar kolom

untuk $R \leq 0.5 a_1$ $te = hk$

2. Perkiraan Daya Dukung Tanah

Untuk Pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba, perkiraan kapasitas daya dukung tanah ditentukan sebesar :

$$q_a (\text{KSLL}) = 1.5 q_a (\text{pondasi rakit})$$

dengan :

$$\bullet q_a \text{ pondasi rakit} = q_{ult} / n$$

$$n = \text{angka keamanan} = 3$$

$$\bullet q_{ult} = c.N_c.sc.ic.dc + \gamma.D_f.N_q.s_q.i_q.d_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma.s_\gamma.i_\gamma.d_\gamma$$

$$\bullet \text{ untuk } \phi = 0$$

$$q_{ult} = 5.14 c (1 + sc' + dc' + ic') + q$$

$$B = \text{jarak terkecil antara kolom}$$

$$D_f = \text{kedalaman penanaman pondasi}$$

q_a (Konstruksi Sarang Laba-Laba) diambil 1.5 q_a (pondasi rakit), karena bekerjanya faktor-faktor yang menguntungkan pada Konstruksi Sarang Laba-Laba dibandingkan pondasi rakit, yaitu:

- Untuk beban dan luasan yang sama, Konstruksi Sarang Laba-Laba memiliki kekakuan lebih tinggi daripada pondasi rakit
- Sistem pemadatan tanah yang efektif di dalam Konstruksi Sarang Laba-Laba ikut memperbaiki dan menambah kepadatan atau meningkatkan daya dukung dari tanah pendukung
- Bekerjanya tegangan geser pada rib keliling terluar dari Konstruksi Sarang Laba-Laba
- Penyebaran beban dimulai dari dasar pelat yang terletak di bagian atas rib, menyebabkan tegangan yang timbul akibat beban, sudah merata ada lapisan tanah pendukung

- Konstruksi Sarang Laba-Laba memiliki kemampuan melindungi secara permanen stabilitas dari perbaikan tanah di dalamnya.

3. Perhitungan Tegangan Tanah Maksimum yang Terjadi

Tegangan Tanah Maksimum dihitung dengan rumus :

$R = \Sigma P$ = resultan te gaya-gaya vertikal dari beban-beban kolom dan bebandin ding di atas Konstruksi Sarang Laba-Laba

A = luasan Konstruksi Sarang Laba-Laba

I_x, I_y = momen inersia luasan Konstruksi Sarang Laba-Laba terhadap sumbu X dan Y

I_x = $L.B^3/12$

I_y = $B.L^3/12$

e_x, e_y = eksentrisitas dari gaya-gaya vertikal terhadap titik pusat luas pondasi

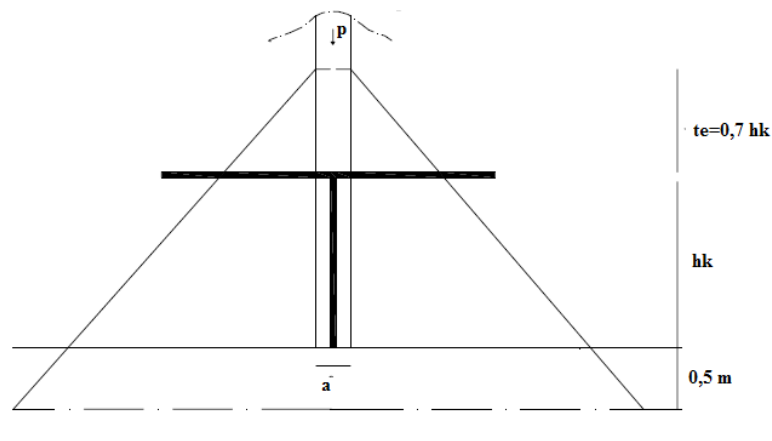
x, y = koordinat dari titik di mana tegangan tanah ditinjau

4. Perhitungan Rib Konstruksi

a. Asumsi :

- Tebal ekivalen maksimum diambil : $t_e (\max) = 0.7 h_k$, dengan h_k = tinggi rib konstruksi
- Proses penyebaran beban dimulai dari ketinggian t_e di atas pelat
- Sudut penyebaran beban = 45°
- Penyebaran beban dianggap sudah merata pada jarak 0.5 m di bawah rib konstruksi
- Diagram penyebaran beban membentuk limas terpancung

b. Perhitungan tinggi rib konstruksi (h_k)



Gambar 2.13 Luasan Daerah Penyebaran Beban Sebelum memikul Momen

a, b = lebar kolom (meter)

F = luas daerah penyebaran beban

$$= (a + 3.4 \, hk + 1) (b + 3.4 \, hk + 1)$$

Keseimbangan beban :

$$P = F \cdot q_0 = q_0 (a + 3.4 \, hk + 1) (b + 3.4 \, hk + 1)$$

q_0 = tegangan yang bekerja pada lapisan tanah yang ditinjau

q_a = tegangan ijin

untuk $q_0 = q_a$, maka :

$$P = F \cdot q_a$$

$$= q_a (a + 3.4 \, hki + 1) (b + 3.4 \, hki + 1)$$

Dari persamaan di atas akan didapatkan hki atau tinggi rib konstruksi ideal di mana beban terdistribusi habis.

Untuk memperoleh desain yang ekonomis atau menggunakan pembesian minimum, ditentukan dengan rumus :

$$hk = 0.8 \, hki$$

$$\text{maka } q_0 = P / ((a + 3.4 + 1)(b + 3.4 + 1)) \text{ maka } hki = \frac{P}{q_a (a + 3.4 + 1)(b + 3.4 + 1)}$$

$$\text{atau } P_1 = q_a (a + 3.4 \, hk + 1) (b + 3.4 \, hk + 1)$$

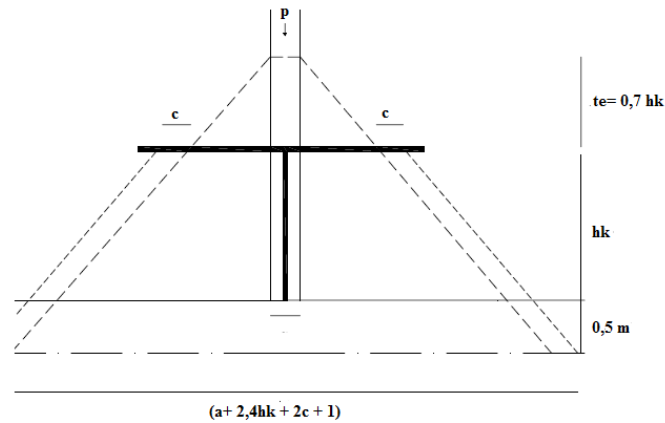
(dengan P_1 = sebagian dari beban yang terdistribusi habis)

$$P_s = P - P_1$$

$$P_s = P_{\text{sisia}}$$

c. Dimensi dan penulangan rib konstruksi

Luas penyebaran beban $F1 = P/q_a$



Gambar 2.14 Luasan Daerah Penyebaran Beban setelah Memikul Momen

$$F1 = (a + 3.4 \text{ hk} + 2c + 1) (b + 3.4 \text{ hk} + 2c + 1)$$

$$P = q_a \cdot F1$$

$$P = q_a (a + 3.4 \text{ hk} + 2c + 1) (b + 3.4 \text{ hk} + 2c + 1)$$

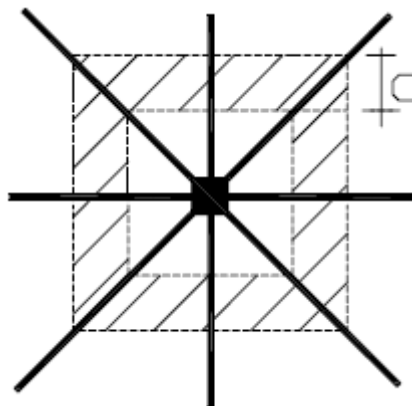
Sehingga dari persamaan di atas didapat nilai c

c = lebar pelat yang dianggap memikul momen

$M \cong 0.5 \cdot (P \cdot c \cdot s / n)$, dengan n = jumlah rib (pada umumnya 8)

Dengan momen tersebut, pada umumnya diperoleh pembesian minimum.

5. Perhitungan Pelat



Gambar 2.15 Pembebanan Lajur pada Pelat selebar c (daerah yang diarsir)

Beban yang diperhitungkan = q_a

Lebar pelat yang ditinjau = c

Bentang pelat = jarak antar rib

Dengan pembebanan lajur selebar c , akan diperoleh dimensi dan

pembesian pelat yang minimum.

6. Kontrol Konstruksi Sarang Laba-Laba

1. Kontrol Pons (Geser)

a. Asumsi :

- Dalam perhitungan kontrol terhadap geser yang diperhitungkan hanya kekuatan konstruksi betonnya saja
- Bidang geser (pons) berada pada jarak 0.7 hk dari sisi luar kolom

b. Perhitungan :

$$F_{\text{geser (pons)}} = n \cdot h_k \cdot b + (a + b + 2.8 h_k) \cdot 2t$$

T = tebal pelat

Untuk checking : $F - \tau \leq p$

2.3.6 Penurunan (*Settlement*) Pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba

Untuk estimasi perhitungan penurunan yang terjadi pada Konstruksi Sarang Laba-Laba, dapat digunakan cara manual melalui rumus-rumus perhitungan yang lazim digunakan pada pondasi-pondasi dangkal yang lain dengan cukupaman, ataupun dengan cara modern melalui program komputer. Untuk cara manual dengan menggunakan rumus yang biasa digunakan pada pondasi dangkal bahkan sebenarnya perlu dikalikan dengan suatu faktor reduksi. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor berikut :

- Sistem perbaikan tanah dalam Konstruksi Sarang Laba-Laba memungkinkan akan dilaksanakannya pemadatan tanah yang efektif, sehingga dapat dicapai tingkat kepadatan tanah yang tinggi. Di samping itu, lapisan tanah asli di bawah lapisan perbaikan tanah akan ikut terpadatkan, akibatnya daya dukung lapisan tanah tersebut akan mengalami peningkatan. Oleh karena itu, kemungkinan terjadinya pemampatan akibat beban yang ada di atasnya dapat direduksi.
- Bekerjanya *cleef* pada sisi luar rib *settlement* berfungsi untuk meningkatkan daya dukung pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba, juga untuk mereduksi settlement.
- Penyebaran beban pada lapisan tanah asli di bawah Konstruksi Sarang Laba-Laba sudah merata.

- Konstruksi Sarang Laba-Laba bekerja sebagai suatu kesatuan pondasi yang cukup luas, sehingga daya dukung pondasi dapat meningkat dan dapat memperkecil terjadinya penurunan.
- Adanya beban balans yang cukup tinggi di sekeliling Konstruksi Sarang Laba-Laba
- Lapisan tanah yang pada sistem pondasi lain memberikan andil terbesar pada total *settlement*, pada Konstruksi Sarang Laba-Laba menjadi nol.

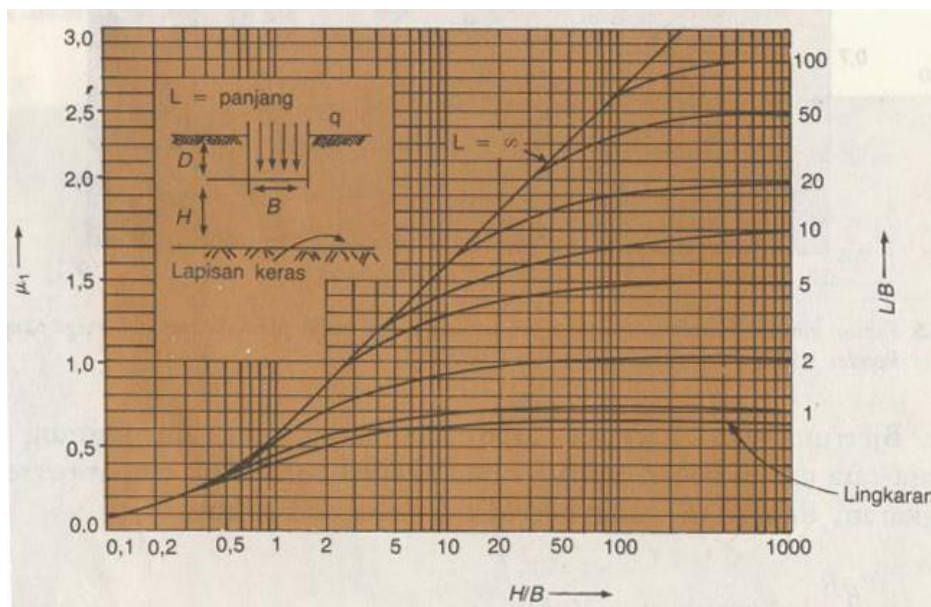
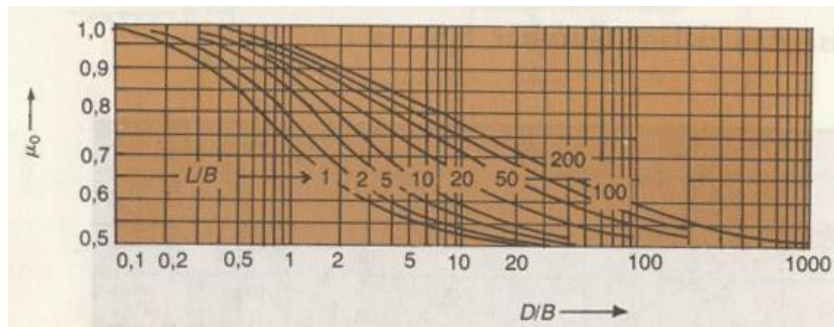
Dengan menggunakan rumus empiris untuk menghitung estimasi penurunan yang terjadi pada sistem pondasi dangkal konvensional, kondisi lapisan tanah teratas di bawah pelat pondasi akan memberikan pengaruh yang paling besar terhadap *settlement*, dibandingkan lapisan-lapisan di bawahnya. Pada sistem Konstruksi Sarang Laba-Laba, lapisan tanah teratas tersebut sudah diperbaiki dengan proses pemadatan yang sempurna, atau dengan kata lain lapisan ini sudah tidak dapat memampat lagi.

Rumus penurunan segera / *Immediate Settlement* sebagai berikut :

$$S_i = \mu_0 \mu_1 \frac{q \cdot B}{E}$$

Dimana:

- | | |
|---------------------|---|
| μ_0 dan μ_1 | = di dapat dari grafik |
| q | = tekanan yang terjadi (P/A) |
| B | = lebar pondasi |
| E | = modulus deformasi pada keadaan <i>undrained</i> |



Gambar 2.16. Grafik hubungan μ_0 , μ_1 , kedalaman pondasi dan lebar pondasi (Janbu, Bjerrum dan Kjaernsli, 1956)